



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41507228_0002

Curriculum vitae

15. 10. 1949 geboren als Sohn des Chemie-Ingenieurs Marcel Dardenne und seiner Ehefrau Gunda, geb. Strang, in Willebroeck (Belgien).
- 1955 - 1965 Besuch der "Ecole communale" und des "Lycée de Garçons" in Angoulême (Frankreich).
- 1965 - 1971 Besuch des Progymnasiums und des Gymnasiums in Liestal, Baselland.
- 1971 Eidgenössische Maturität Typus C in Zürich.
- 1971 - 1976 Studium der Meereskunde, insbesondere Fischereibiologie, Meereschemie und Meereszoologie mit Abschluss an der Universität Kiel (BRD).
- 1976 Heirat mit Yvonne Seiler. Aus der Ehe sind drei Kinder entsprungen.
- 1976 Teilnahme an einer Antarktis-Expedition zur Erforschung der Krill-Bestände.
- 1976 - 1978 Forscher am Institut für Zoologie der Universität Zürich.
- 1978 Teilnahme an einer Antarktis-Expedition zur Erforschung der Biologie des Krills.
- 1978 - 1983 Studium der Veterinärmedizin an der Universität Zürich mit Abschluss.
- 1983 - 1985 Doktorand am Institut für Parasitologie der Universität Zürich.
- seit 1985 selbständiger Ozeanograph und Tierarzt in Montreux.

Strauch, D., Berg, Th. (1980):

Mikrobiologische Untersuchungen zur Hygienisierung von Klärschlamm.

6. Mitt.: Schlammverfestigung mit Branntkalk.

Gas-, Wasserfach (Ausgabe Wasser - Abwasser) 121 (10): 493-495.

Strauch, D., Schreiber-Rothschild, R., Pfuderer, G., Koch, K. (1983):

Hygienische Gesichtspunkte der Kalkbehandlung von Klärschlamm und Abwasser.

Gas-, Wasserfach (Ausgabe Wasser - Abwasser) 124 (12): 593-600.

Villiers, R.V. (1981):

Lime stabilization and ultimate disposal of municipal wastewater sludges.

US Environment. Protect. Agency Cincinnati Contract Nr. 68-03-2803.

Von Aarburg, J. (1981):

Die Nachbehandlung von entwässertem Klärschlamm mit Kalk.

Schweiz. Ingenieur und Architekt 99: 1107-1113.

Von der Heide, G. (1973):

Ausarbeitung standardisierter labormässiger Prüfmethode für parasitizide Desinfektionsmittel.

Vet.-Med. Diss., Hannover.

Wallace, A. (1984):

Effects of liming of soil on additive, synergistic and protective interactions of some multiple trace element combinations and on iron and calcium interactions for a dicot and a monocot plant species.

Plant Nutrition 7: 595-601.

Ziess, V. (1980):

Versuche zur Erzeugung eines Kalk-Klärschlamm-Düngers.

13. Essener-Tagung 5.- 7. März, 1980. Bundesverband deutsch. Kalkindustrie, Köln.

Owen, R.R. (1984):

The effectiveness of chemical disinfection on parasites in sludge.
In: Bruce, A.M. (ed.), Sewage Sludge Stabilisation and Disinfection. pp. 426-433. Ellis Horwood Ltd., Chichester, England.

Polprasert, C., Valencia, L.G. (1981):

The inactivation of faecal coliforms and Ascaris ova in faeces by lime.

Wat. Res. 15: 31-36.

Poole, J.E.P., Mills, M.J. (1983):

The effect of lime treatment of sewage sludge on the hatching and viability of human tapeworm. In Bruce, A.M. (ed.): Sewage Sludge Stabilisation and Disinfection. pp. 440-448. Ellis Horwood Ltd., Chichester, England.

Rüffer, H., Rosenwinkel, K.H., Otte-Witte, R. (1983):

Die verfestigende Wirkung von Kalk bei der Nachbehandlung maschinell entwässerter Schlämme.

Z. Wasser-Abwasser-Forsch. 16: 220-223.

Ryan, J., Smillie, G.W. (1975):

Liming in relation to soil acidity and fertilizer efficiency.
Soil Sci. Plant Analysis 6: 409-419.

Schreiber-Rothschild, R. (1980):

Hygienische Untersuchungen bei der Kalkkonditionierung von Klärschlamm.

Agr.wiss.Diss. Univ. Hohenheim-Stuttgart.

Schuh, R. (1984):

Untersuchungen über das Vorkommen von Parasiteneiern im Klärschlamm von Abwasserreinigungsanlagen in Baden-Württemberg sowie über den Einfluss von Kalk auf Eier von Ascaris suum.

Diplomarbeit, Agrarwiss. Fakultät, Univ. Hohenheim-Stuttgart.

Souza, L.F.D., Velloso, A.C.X., Fernandes, M.S., Decastro, A.F. (1983):

Liming and phosphorous fertilization in some soils under cerrado.
2. Intervals between liming and phosphorous application.

Pesquisa Agropecuaria Brasileira 18: 1175.

Storm, D.R., Kelly, B., Gannon, G., Meyer, E. (1981):

Pathogens survival in lime stabilized sludge.

Biocycle 22: 48; 50-51.

Gehrke, R. (1978):

Anwendung von Kalk in kommunalen Kläranlagen.

Korrespondenz Abwasser 25: 375-389.

Godfree, A.F., Jones, F., Satchwell, M., Watson, D.C (1983):

The effectiveness of chemical disinfection of faecal bacteria in sludge. In: Bruce, A.M. (ed.): Sewage Sludge Stabilisation and Disinfection. pp. 412-425. Ellis Harwood Ltd. Chichester, England.

Henseler, G. (1982):

Vergleichende Beurteilung verschiedener Klärschlammbewirtschaftungsarten.

Gas-Wasser-Abwasser. 62: 222-227.

Horstkotte, G.A., (1973):

Pilot-demonstration project for industrial reuse of renovated municipal wastewater.

US Environment. Protect. Agency 670/2-73-064, August 1973.

Huber, J., Sigel, O., Brunner, P.H. (1984):

Übersicht über die Verfahren zur Hygienisierung von Klärschlamm.

Huber Enviro-Consult AG, Belp und EAWAG, CH-8600 Dübendorf.

Hugenroth, P., Klages, F.W. (1978):

Anwendung von Kalkstickstoff zur Geruchsdämmung bei kommunalem Klärschlamm.

Korrespondenz Abwasser 25: 395.

Kickuth, R. (1976):

Die spezifische Rolle des Kalkes in der kommunalen Abwasserreinigung: Erwartungen und Realitäten.

Forum Umwelthyg. 27: 300-305.

Koch, K., Strauch, D. (1981):

Inaktivierung von Polio- und Parvovirus im Klärschlamm durch Kalkbehandlung.

Zbl. Bakt. Hyg. 1. Abt. Orig. B 174: 335-347.

Koch, K. (1982):

Hygienisch-virologische Untersuchungen bei der Kalkkonditionierung von Klärschlamm.

Forum Städtehyg. 33: 117-119.

Meyer, H., Ziess, V. (1977):

Erfahrungen und Probleme der Klärschlammverwertung in Form von Kalkdünger.

Korrespondenz Abwasser 24: 48-51.

- Birbaum, C., Eckert, J. (1985):
Untersuchungen über die Abtötung von Wurmeiern in Hygienisierungs-
anlagen für Klärschlamm.
Schweiz. Arch. Tierheilk. 127: 25-44.
- Bruce, A.M., Fisher, W.J. (1984):
Sludge stabilization - methods and measurement. In: Bruce, A.M.
(ed): Sewage Sludge Stabilization and Disinfection. pp. 23-47.
Ellis Horwood Limited, Chichester, England.
- Cherepanov, A. A., Rogozhin, V.A., Chen, N.G., Sinel'Nikova, E.M. (1983):
[Decontamination of sewage sludge and effluent from largescale
animal units.]
Veterinarya (Moskow) 12: 19-22. (Ru).
- Crewe, W., Owen, R.R. (1983):
The parasitology of sewage sludge in cold climates, with special
reference to the United Kingdom.
In: Wallis, P.M., Lehmann, D.L., (eds.): Biological Health Risks
of Sludge Disposal to Land in Cold Climates. pp. 193-211.
University of Calgary Press, Calgary.
- Curtin, D., Smillie, G.W. (1984):
Influence of liming on soluble and labile P in fertilized soil.
Commun. Soil Sci. Plant Anal. 15: 177-188.
- DIN (1967): Deutsche Industrie Norm 1060, Deutscher Normenausschuss, Berlin.
- DIN (1985): Deutsche Industrie Norm, Entwurf DIN 4505, Deutscher Normenaus-
schuss, Berlin.
- Doyle, C.B. (1967):
Effectiveness of high pH for destruction of pathogens in raw
sludge filter cake.
J. Water Pollut. Contr. Fed. 39: 1403-1409.
- EAWAG (1970): Eidgenössische Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung
und Gewässerschutz.
Methoden zur Untersuchung von Abfallstoffen.
(Rollé, G., Orsanic, B., Obrist, W., Aerne, B., Hrsg.)
Abteilung Müllforschung, CH-8600 Dübendorf.
- Emrath, E. (1979):
Nachkonditionierung des entwässerten Schlammes mit Branntkalk.
Wasser, Luft und Betrieb 23: 18-20.
- Farell, J.B., Smith, J.E. Jr., Hataway, S.W., Dean, R.B. (1974):
Lime stabilization of primary sludges.
J. Water Pollut. Contr. Fed. 46: 113-122.

8. Literaturverzeichnis

Anonym (1971):

Schweizerisches Milchlieferrungsregulativ vom 18. Oktober 1971.
Schweiz. Milchkommission, Bern.

Anonym (1981):

Klärschlammverordnung vom 8. April 1981. Bundesamt für Umweltschutz, Bern.

Anonym (1984):

Wegleitung für die Abnahmeuntersuchung von Klärschlamm-Hygienisierungsanlagen. Bundesamt für Umweltschutz, Bern.

Adam, J., Westwood, T. (1979):

Treatment of raw sludge by lime for disposal to land.
In: Proc. Water Research Conf. on Utilization of Sewage Sludge on Land, Oxford, 10-13 April 1978, pp. 12-33. Water Research Centre, Stevenage, Keele College, Oxford.

Adams, T.McM., Adams, S.N. (1983):

The effects of liming and soil pH on nitrogen contained in the soil biomass.
J. agric. Sci. 101: 553-558.

Albasel, N., Cottenie, A. (1985):

Heavy metals uptake from contaminated soils as affected by peat, lime and chelates.
Soil Sci. Soc. Amer. J. 49: 386-390.

Argaman, Y., Weddle, C.L. (1973):

Fate of heavy metals in physical-chemical treatment processes at Bechtel Inc., San Francisco, Calif.
Water 70: 400-414.

Argo, D.G., Culp, G.L. (1972):

Heavy metals removal in wastewater treatment processes:
Part 2: Pilot plant operation.
Water and Sewage Works 119:128.

Bernhoff, R. (1975):

Die Rolle von Kalk und Dolomit bei der Reinigung häuslicher Abwässer.
Abwassertechnik. Nr. 4, 18-24; Nr. 5, 16-20; Nr. 6, 18-21.

7. Danksagung

Die Untersuchungen wurden vom Bundesamt für Umweltschutz Bern im Rahmen des Forschungsprojektes Nr. 319.203 finanziert. Dafür und die freundliche Beratung durch Herrn Dipl. Ing. agr. J. Dettwiler danke ich bestens. Teile der Arbeiten konnten in folgenden Labors bzw. Anlagen durchgeführt werden: Umweltlaboratorium der Firma Von Roll AG, Wallisellen; Kläranlage Dübendorf. Folgende Firmen unterstützen die Arbeit durch Bereitstellung von Geräten: Fa. Lödag, Egolzwil: Chargenmischer; Fa. Von Roll AG, Wallisellen: Laborgeräte; EAWAG, Dübendorf: Tonnen, Kompostthermometer; Zweckverband Kläranlage Dübendorf: Branntkalk, Mulden, Laborgeräte. Mein persönlicher Dank gilt Herrn Eberle, Klärmeister der Anlage Dübendorf, für seine fachkundige Beratung und Unterstützung während den Versuchen. Mein Dank gilt auch Herrn Prof. J. Eckert für die Ueberlassung des Arbeitsplatzes im Institut für Parasitologie Zürich sowie für seine konstruktive Kritik bei der Durchführung der Arbeit und der Auswertung der Ergebnisse.

6. Zusammenfassung

Im Auftrag des Bundesamtes für Umweltschutz in Bern wurde die Wirkung von Branntkalk (CaO) auf die Entwicklungsstadien von Parasiten in partiell entwässertem Klärschlamm untersucht. Die Untersuchungen wurden im Modellversuch mit ca. 80 l Schlamm und im industriellen Massstab mit Schlamm-mengen von 7 m^3 durchgeführt. Als Testorganismen dienten nicht embryonierte Eier des Schweinespulwurmes Ascaris suum. Im Modellversuch führte ein Zusatz von 0,43 kg Branntkalk (94 % CaO) pro kg Trockensubstanz (TS) Frischschlamm zur Abtötung aller Ascaris-Eier. In dem Kalk-Schlammgemisch entwickelten sich bei der Dosierung von 0,43 kg Kalk/kg TS Temperaturen bis $+80^\circ\text{C}$, die etwa 2 1/2 Stunden anhielten. Bei den Versuchen mit grösseren Schlamm-mengen waren bereits 0,397 kg Branntkalk pro kg TS zu 100 % auf Ascaris-Eier wirksam. In den verwendeten Versuchsbehältern (Grossraum-mulden) entwickelten sich Temperaturen von ca. $+55^\circ$ bis 73°C . Die Temperaturverteilung war dabei so, dass auch in der Oberflächenschicht des Kalk-Schlammgemisches Temperaturen von $+55^\circ\text{C}$ während mindestens 30 Min. erreicht wurden. Daraus geht hervor, dass in allen Bereichen des Gemisches eine vollständige hygienisierende Wirkung zu erzielen ist. Für letztere sind Dosis und Qualität des Branntkalkes sowie der Wassergehalt des Schlammes von ausschlaggebender Bedeutung.

Summary

On request of the Swiss "Federal Office for Environmental Protection" the hygienic effect of quick lime (CaO) on parasites in dewatered sludge has been investigated. For the evaluation of the hygienization process non-embryonated Ascaris suum eggs in nylon bags were used. After re-isolation, the eggs were incubated and examined microscopically for their stages of development. In a model test in barrels of 80 l content it was shown that a dose of 0,43 kg quick lime per kg dry matter of sludge was necessary to kill 100 % of the Ascaris eggs. In large scale containers, a dose of 0,397 kg quick lime /kg dry matter of sludge resulted in killing all Ascaris eggs even in the surface layer. At this dose the temperature in the surface layer reached $+55^\circ\text{C}$ for at least 30 minutes. In deeper layers temperatures were around $+60^\circ\text{C}$ persisting for many hours. The quality and the dose of quick lime and the degree of dewatering of the sludge are very important for the hygienization process.

Klärschlamm geht vom Gelzustand in den Solzustand über. Das thixotrope Verhalten ist damit auch mitentscheidend für das Separierverhalten des Klärschlammes und muss bei der Wahl eines geeigneten Mischers unbedingt berücksichtigt werden. Die Ursache der Probleme liegt in der Stoffveränderung und Wärmeentwicklung durch Branntkalkzugabe mit nachfolgender chemischer Reaktion.

Abschliessend sei vermerkt, dass Kalk sich sehr gut eignet, um Schadstoffe zu neutralisieren. Bei der Behandlung von Abwässern mit Kalk zeigten alle Metalle, die in die Untersuchung einbezogen waren, durch die Kalk-Koagulation Ausscheidungsgrade von über 85 %, in vielen Fällen von 95 - 99 % (Horstkotte, 1973; Argaman und Weddle, 1973). Der "Orange County Water District" in Kalifornien berichtet über Ausscheidungsgrade von 89 - 100 % (Argo und Culp, 1972). In kommunalen Faulschlämmen liegen Schwermetalle in der Regel in Form schwerlöslicher Sulfide vor. Die meisten dieser Sulfidverbindungen sind noch weit weniger wasserlöslich als z.B. Schwermetallverbindungen, die als Hydroxide mit Kalkmilch gefällt und geflockt werden können. Die Zugabe von Kalkverbindungen zum Klärschlamm hat deshalb im Hinblick auf die Fixierung für die meisten Schwermetalle keine wesentliche Bedeutung.

Ausnahmen stellen Cadmium, Zink und Mangan dar, weil sich hier durch die Kalkzugabe Hydroxidverbindungen bilden, die noch deutlich schwerer löslich sind als die entsprechenden Sulfidverbindungen. Die Funktion des Kalkes im Hinblick auf die Schwermetallfixierung ist vor allem darin zu sehen, dass dem Klärschlamm ein ausreichendes Puffervermögen gegen saure Einflüsse gegeben wird. Es ist bekannt, dass beim Abfallen des pH-Wertes die Schwermetallmobilität im Klärschlamm auch bei Vorliegen sulfidischer Formen deutlich erhöht wird. Hier kann durch Kalkzugabe Abhilfe geschaffen werden. Klärschlamm, der mit etwa 50 bis 100 kg CaO/m^3 behandelt worden ist, hat ein grosses Puffervolumen, das über viele Jahre ausreicht. Bei der Klärschlammbehandlung mit Kalk ist weiterhin zu berücksichtigen, dass Klärschlämme durch die Kalkzugabe verfestigt werden und damit die Wasserundurchlässigkeit deutlich erniedrigt wird. Somit wird für lange Zeit verhindert, dass saure Niederschläge das Puffervolumen abbauen (Peschen, pers. Mitt.).

und ähnlich resistenter parasitärer Gebilde keine wesentliche Rolle spielen dürfte.

Gleiches gilt für die bei der Kalkung entstehenden Ammoniakkonzentrationen. In den eigenen Versuchen wurden dicht über der Oberfläche des Kalk-Schlammgemisches Ammoniakkonzentrationen um 5×10^{-3} Vol.% gemessen. Nach Cherepanov et al. (1983) wurden zwar Eier von Helminthen, Oozysten von Kokzidien und Zysten von Balantidium durch Einleitung von Ammoniak im Schlamm abgetötet, doch betrug dabei die Endkonzentration 2 Vol.% bei einer Einwirkungsdauer von 6 h.

Hinsichtlich der parasitiziden Wirkung des Kalkens sind die Daten der vorliegenden Arbeit kaum mit Untersuchungen anderer Autoren vergleichbar, da diese im allgemeinen geringere Kalkkonzentrationen ($1,5 - 3,0 \text{ kg CaO/m}^3$) dazu eingesetzt haben, den pH-Wert zu verschieben und dadurch die Entwicklung von Bakterien oder Viren zu hemmen (Schreiber-Rothschild, 1980; Godfree et al., 1983; andere Literatur siehe Abschnitt 2).

Im folgenden Teil sei noch auf einige andere Aspekte der Klärschlammkalkung hingewiesen.

In den eigenen Untersuchungen ist festgestellt worden, dass die parasitologisch voll wirksame Konzentration des Kalkes bei $0,4 \text{ kg pro kg Trockensubstanz (TS) des Schlammes}$ liegt. Im Verhältnis zu der Behandlung des Schlammes zur Abtötung von Viren (s. Tab. 1, Seite 4) ist diese Konzentration 2,5 mal höher. Wieweit diese hohe Dosis in der Praxis aus verschiedenen Gründen akzeptabel ist, muss weiter untersucht werden.

Ferner sei auf das thixotrope Verhalten des Klärschlammes hingewiesen. In einem Zustand der Ruhe bilden sich um feinste Partikel (Kolloide) sog. Solvathüllen. Das darin angelagerte Wasser ist gebunden und steht für das Fließen nicht mehr zur Verfügung. Die Grösse der Solvathüllen nimmt mit der Zeit zu, die Fliessfähigkeit nimmt dagegen ab, der Schlamm wird gelartig. Wird der Schlamm bewegt, zum Beispiel beim Mischen, werden durch die Scherkräfte die Solvathüllen abgebaut, und zwar bei geringer Bewegung weniger, bei starker Bewegung mehr. Das aus den Solvathüllen freigesetzte Wasser steht als freies Wasser wieder für das Fließen zur Verfügung, der

Die durch diesen Hydratationsvorgang freigesetzte Wärme kann kurzfristig auf pathogene Keime einwirken. Hinzu kommt ein länger anhaltender Temperatureffekt während der Zeit bis zur Beendigung des Mischprozesses und der anschliessenden Lagerung des Kalk-Schlammgemisches.

Beim Kalken entstehen hohe pH-Werte um 12 oder höher (Lit. s. Einleitung), die später zurückgehen, wenn Kohlendioxid der Luft mit Kalkhydrat (Kalziumhydroxid) unter Bildung von Kalziumkarbonat nach folgendem Schema reagiert:



Dabei wird wiederum Wärme frei, die den Verdunstungseffekt und somit die Feststoffzunahme unterstützt.

Das bei der Umsetzung mit Wasser entstehende Kalziumhydroxid kann weiter mit reaktionsfähigen Bestandteilen in Klärschlamm reagieren, z.B. mit amorpher Kieselsäure (SiO_2) oder Tonerde (Al_2O_3) (Gehrke, 1978). Bei der Verwendung von Eisensalzen als Konditionierungsmittel des Schlammes entstehen zusätzlich beträchtliche Wärmemengen durch die Reaktion der Eisensalze dem Kalziumhydroxid (Peschen, pers. Mit. 1984):



Ein zusätzlicher Wärmeeffekt im Klärschlamm, kombiniert mit einer ungewöhnlichen Tragfähigkeitszunahme, wird bei der Reaktion von Aluminiumsalzen als Konditionierungsmittel mit Kalziumhydroxid vermutet, entsprechend folgender Reaktion (Gehrke, 1978):



Aus diesen Gründen muss die Art der Vorbehandlung des Schlammes beim Hygienisierungsvorgang mit Branntkalk unbedingt berücksichtigt werden.

Neben der Temperatur könnten noch andere Faktoren für den parasitiziden Effekt eine Rolle spielen.

In der Einleitung wurde bereits darauf hingewiesen, dass die Verschiebung des pH-Wertes mit starker Alkalisierung für die Abtötung von Ascaris-Eiern

5. Diskussion

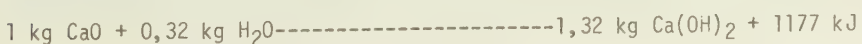
Ziel der Arbeit war die Entwicklung eines wirksamen Verfahrens zur parasitologischen Hygienisierung partiell entwässerten Klärschlammes durch Zusatz von Branntkalk (CaO). Bei Verwendungentwicklungsfähiger Eier von Ascaris suum (Schweinespulwurm) als Testorganismen konnte gezeigt werden, dass in Versuchen mit kleineren Schlammvolumina von ca. 80 l ("Tonnenversuch") eine Branntkalkkonzentration von 0,43 kg pro kg Trockensubstanz (TS) des Schlammes alle Eier abtötete. Bei Versuchen unter Praxisbedingungen mit Schlammvolumina von 7 m^3 ("Muldenversuch") lag die voll wirksame Branntkalkkonzentration in derselben Größenordnung bei 0,40 (genau: 0,397 kg/kg TS).

Für die parasitizide Wirkung des Verfahrens dürften erhöhte Temperaturen, die durch Reaktion des Branntkalkes mit Wasser entstehen, sowie die Einwirkungszeiten ausschlaggebend sein. Bei den angegebenen, voll wirksamen Kalkkonzentrationen wurden im "Tonnenversuch" bzw. im "Muldenversuch" während mindestens 2 1/2 Stunden Temperaturen über $+55^\circ\text{C}$ gemessen. Im "Muldenversuch" bestand in 10 cm Tiefe eine Temperatur um $+55^\circ\text{C}$ nur für ca. 1 Stunde. Nach Birbaum und Eckert (1985) waren bei der Temperatur von $+56^\circ\text{C}$ in Laborversuchen alle Ascaris-Eier innerhalb von 10 Minuten abgetötet. Für die Entwicklungsstadien anderer wichtiger Parasiten ist eine ähnliche Temperaturempfindlichkeit anzunehmen (Lit. bei Birbaum und Eckert, 1985).

Aus den eigenen Untersuchungen geht hervor, dass die Höhe der sich entwickelnden Reaktionstemperatur von der Konzentration und Qualität des Branntkalkes, von dem TS-Gehalt bzw. Wassergehalt des Schlammes sowie vom Mischvorgang abhängig ist. Daher sind in der Praxis diese Faktoren besonders zu beachten und möglichst zu standardisieren.

Die Temperaturentwicklung im Kalk-Klärschlammgemisch ist auf folgende Reaktionen zurückzuführen:

Aus 1 kg Branntkalk entstehen durch den "Löschprozess" 1,32 kg Kalkhydrat (Kalziumhydroxid), in dem 0,32 l Wasser chemisch gebunden sind (Gehrke, 1978):



Die Analyse der Temperaturprofile (Abb. 7, Seite 27) bei einer Dosierung von 0,397 kg Kalk pro kg TS zeigte, dass in nur 10 cm Tiefe die Temperatur während mehr als 3 h über +52°C lag. Am Ende der Beobachtungszeit von 24 h war die Temperatur in 10 cm Tiefe auf +48°C gefallen. Bei einer Wiederholung des Versuches mit 3 Mulden wurde die gleiche Dosis von Kalk eingesetzt, die nur geringfügig schwankte. In diesem Versuch variierte jedoch der Wassergehalt des Schlammes erheblich, verursacht durch die Verwendung eines anderen Flockungsmittels. Der unterschiedliche Wassergehalt bzw. die dadurch veränderten Werte der TS führten zu erheblich unterschiedlichen Reaktionstemperaturen (Tab. 6).

Tab. 6: Einfluss des Wassergehaltes des Schlammes auf die Temperaturentwicklung beim Kalken

Kalk-Dosierung in kg pro kg TS FS *	% TS des Schlammes vor dem Mischen	Maximal- Temperatur °C	Umgebungs- Temperatur °C
0,390	24,6	+58	+14
0,397	26,6	+72	+14
0,399	28,6	+93	+12

*) TS: Trockensubstanz, FS: Frischschlamm

Diese Daten zeigen, dass bei der Hygienisierung von entwässertem Klärschlamm die Angabe einer Branntkalkdosierung allein nicht genügt. Der Entwässerungsgrad des Schlammes vor dem Mischen muss ebenfalls berücksichtigt werden.

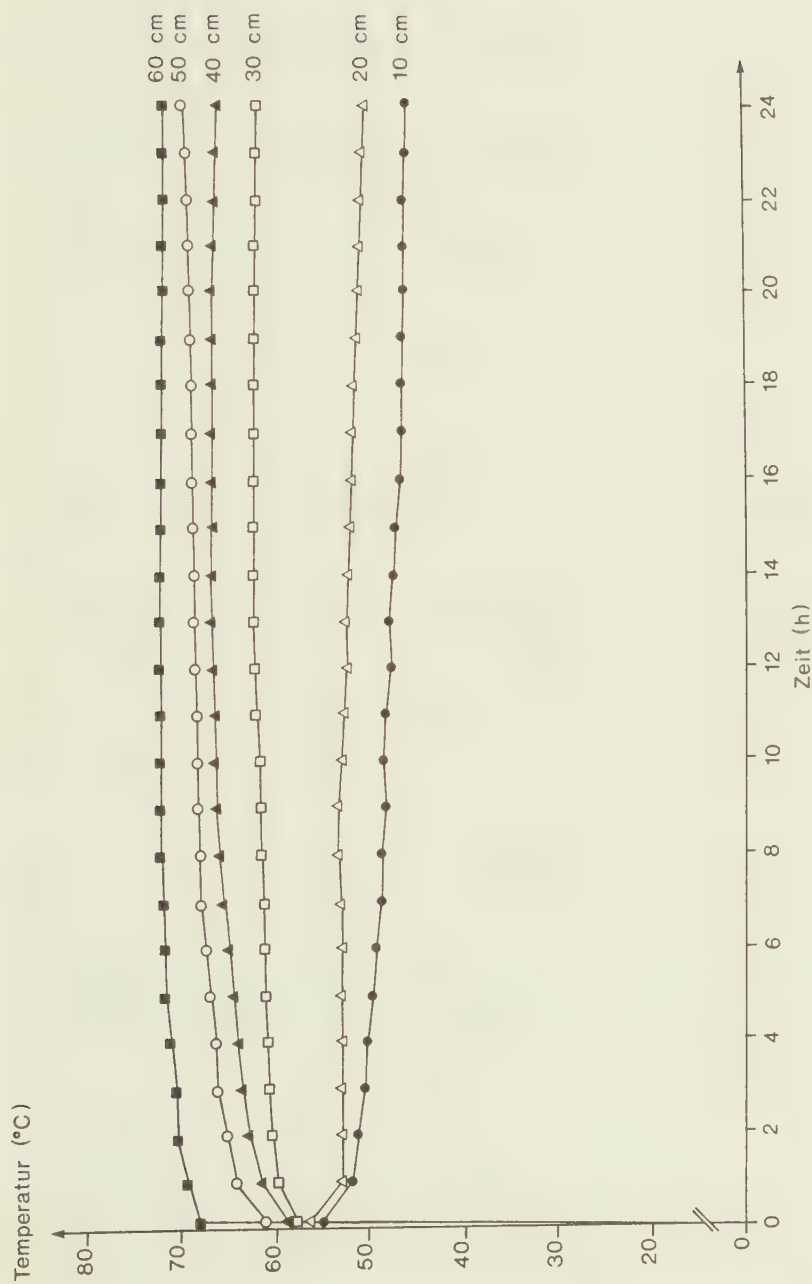


Abb.7: Temperaturentwicklung in einer Grossraummulde

4.3.5. Temperaturentwicklung

Durch die Registrierung der auftretenden Temperaturen mit Hilfe einer Mess- und Schreibanlage wurde die wichtigste und zudem direkt messbare Komponente des Hygienisierungsvorganges im Kalk-Schlammgemisch verfolgt. Die Messwerte lassen generell drei Zonen in den Mulden erkennen, die am Beispiel bei einer Kalkdosierung von 0,397 kg pro kg TS Schlamm dargestellt werden (Tab. 5, Abb. 7).

- eine oberflächliche Schicht bis zu 20 cm Tiefe, in der die Temperatur innerhalb einer halben Stunde bis auf Maximalwerte von 55°C anstieg. In der Schicht bis zu 10 cm erfolgte infolge Wärme- und Gasaustausch mit Kondensatbildung (Wasserdampf und Ammoniakgas) ein relativ rascher Temperaturabfall um einige Grade (Abb. 7). Nach 24 Stunden betrug die Temperatur aber immer noch ca. 48°C. In der Schicht von 20 cm Tiefe vollzog sich dieser Temperaturabfall etwas langsamer.
- eine mittlere, trägere Schicht, die bis ca. 40 cm in die Tiefe reicht. Hier erfolgt die Wärmeentwicklung langsamer. Die höchsten Temperaturen werden dort erst nach ca. 12 h registriert.
- eine Kernschicht (bis 60 cm Tiefe): Sie stellt beim Hygienisierungsvorgang keine Probleme dar. Die erreichten Temperaturen liegen zwischen 70 und 73°C. Die Abkühlung erfolgt langsam. Diese Schicht liefert beträchtliche Wärmemengen, welche eine langanhaltende Hygienisierung sichern.

Tab. 5: Im "Grossraummuldenversuch" gemessene Maximaltemperaturen in °C

Tiefe	°C: bei einer Dosierung* von kg Kalk pro kg TS Schlamm:					
	0,241	0,291	0,356	0,390	0,397	0,422 kg Kalk/kg TS
10 cm	40	46	46	48	55	60
20 cm	44	48	52	53	57	62
30 cm	45	49	52	54	62	66
40 cm	46	50	52	56	68	72
50 cm	46	51	52	57	70	74
60 cm	46	51	52	58	73	75

*) Kg Kalk pro kg Trockensubstanz Schlamm

4.3.4. Wirkung von Branntkalk auf die Ueberlebensfähigkeit von Ascaris-Eiern in partiell entwässertem Frischschlamm

Die Versuche ergaben, dass mit einer Dosierung von 0,397 Kg Kalk pro Kg Trockensubstanz des Klärschlammes eine vollständige Abtötung der Testkeime in sämtlichen Tiefen der Mulde erfolgt ist (Tab. 4).

Tab. 4: Wirkung von Branntkalk (94 % CaO) auf die Ueberlebensfähigkeit von Ascaris suum-Eiern in partiell entwässertem Frischschlamm mit 28% Trockensubstanz (Grossraummuldenversuch)

Versuchsbedingungen:		Resultate:				
Mulde Nr.	Dosierung Branntkalk in kg pro kg Trockensubstanz von Frischschlamm	% lebensfähige Larven in Ascaris-Eiern in verschiedenen Tiefen des Kalk-Schlammgemisches:				
		Durchschnittswerte aus je 2 Beuteln *				
		10 cm	20 cm	30 cm	40 cm	50 cm
Mulde 1	0,241	67,8	61,8	61,7	52,3	51,5
Mulde 2	0,291	49,8	32,8	46,5	37,7	21,8
Mulde 3	0,356	33,0	0	11,8	0	0
Mulde 4	0,390	18,2	0	0	0	0
Mulde 5	0,397	0	0	0	0	0
Mulde 6	0,492	0	0	0	0	0
Kontrollen: Inkubation der Eier im Labor ohne Exposition im Kalk-Schlammgemisch		Serie 1:	92,0		92,7	90,0
		Serie 2:	90,3		90,0	94,0

* Von jedem Beutel wurden drei Proben à mindestens 100 Eier beurteilt und ausgewertet

dass die Geruchsschwelle für Ammoniak bei 5 ppm liegt und die maximale Arbeitsplatz-Konzentration (MAK-Wert, 1981) bei 25 ppm festgelegt war. Die Bedeutung dieser Konzentration wird später diskutiert.

4.3.3. Ergebnisse der Trockensubstanzbestimmung

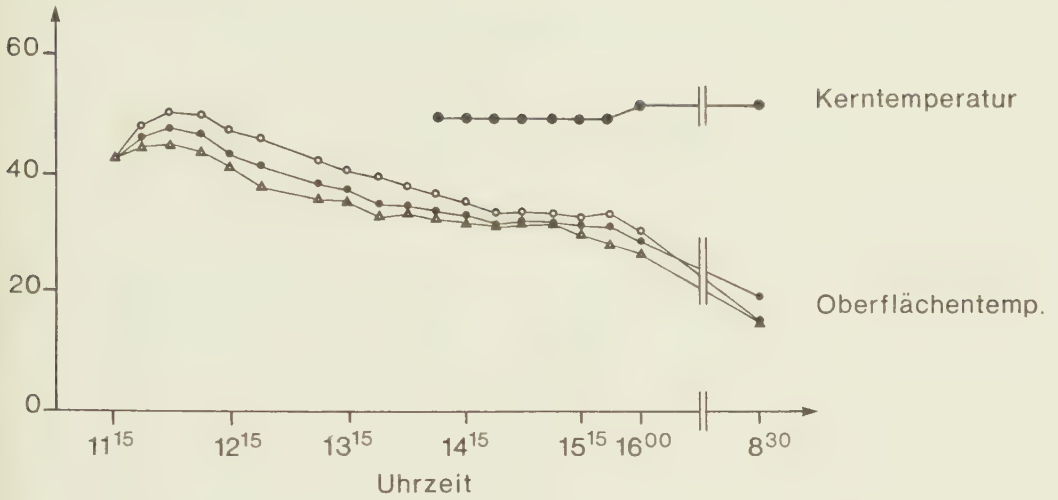
Die Bestimmung der Trockensubstanz des Schlammes nach dem Einheitsverfahren für Kläranlagen (EAWAG, 1970) im Trockenschrank ist zeitraubend. Die Resultate liegen frühestens nach 12 h vor. Es wäre wünschenswert, den TS-Gehalt des Schlammes nach Verlassen des Dekanters rasch bestimmen zu können, um die Kalkdosis genau auf den TS-Gehalt des Schlammes abstimmen zu können. Mit Hilfe des von uns modifizierten Mikrowellengerätes konnte die Trocknungszeit bis auf 45 Minuten verkürzt werden, und zwar bei dem üblichen Probenumfang von 100 g. Die Genauigkeit unserer Bestimmungen wurde durch Paralleluntersuchungen ermittelt. Die mittlere Differenz der Trocknung von Proben verschiedener Ausgangsgewichte im Mikrowellenofen im Vergleich zur Trocknung im Trockenschrank betrug + 0,5 % (Tab. 3). Zur Ueberprüfung, ob dieser Unterschied signifikant ist, führten wir Kreuzversuche durch. Im Trockenschrank getrocknete Schlämme wurden erneut 5 Minuten im Mikrowellenherd und die im Mikrowellenherd getrockneten Proben 30 Minuten im Trockenschrank nachgetrocknet. Es zeigte sich, dass die Differenzen im Fehlerbereich der Bestimmungsmethode lagen.

Tab. 3: Vergleichende Trockensubstanzbestimmung von Klärschlamm im Trockenschrank und im Mikrowellenofen (Probenumfang: 100 + 0,1%)

Schlammart	Anzahl Bestim- mungen	Trockensubstanz in g pro kg im				Differenz $\bar{x}$
		Trockenschrank: 100°C		Mikrowellenofen: 131°C		
		$\bar{x}$	S	$\bar{x}$	S	%
Frisch	10	60,3	1,5	59,5	1,1	- 1,3
Frisch	10	31,8	1,1	32,0	1,0	+ 0,6
Entwässert						
mit Kalk	5	3,9	0	3,37	0	+ 2,4
Entwässert						
mit Kalk	5	50,2	0	500	0	- 0,4
Mittlere Differenz %						+ 0,5

$\bar{x}$: Mittelwert; S = Streuung

Temperatur (°C)



Temperatur (°C)

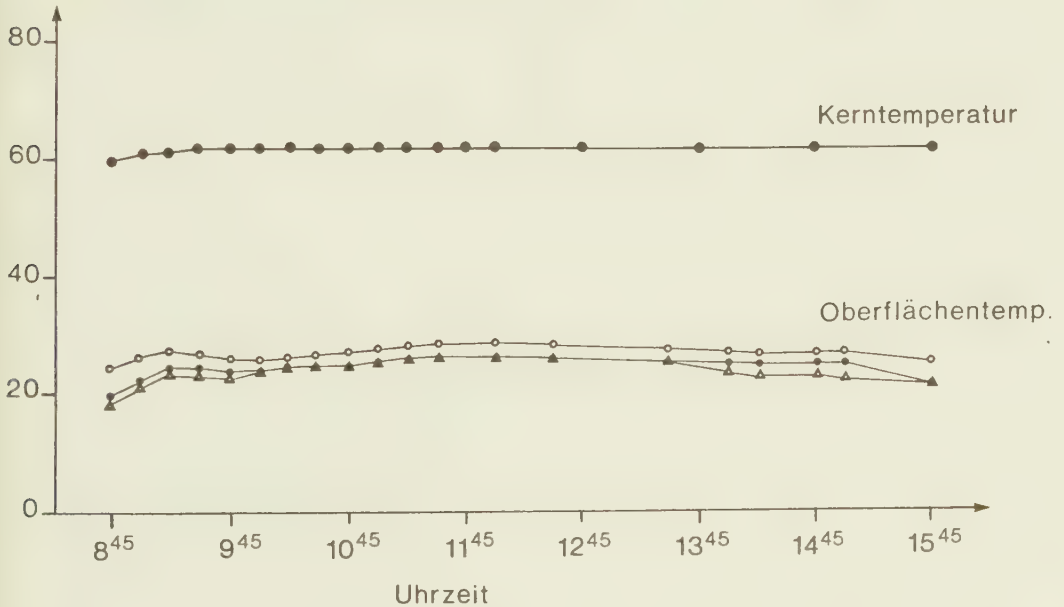


Abb. 6: Mischversuche mit verschiedenen Schaufeltypen:

- oben : Halbschaufeln; 0,237 kg Kalk/Kg TS Schlamm; pH des Gemisches: 11,8
- unten: Vollschaufeln; 0,237 kg Kalk/Kg TS Schlamm; pH des Gemisches: 11,5

4.3. Resultate der Hauptuntersuchungen zur Wirkung von Branntkalk ("Grossraummuldenversuch")

Mit der Durchführung eines Grossversuches in Mulden von 7 m^3 Inhalt sollten folgende Fragen untersucht werden:

- Bei welcher Dosierung von Branntkalk (94 % CaO) in partiell entwässertem Schlamm (ca. 28 % TS) ist eine vollständige Abtötung der Ascaris-Eier möglich?
- Es sollte geprüft werden, ob bei dieser Kalkdosierung technische Probleme, wie beispielsweise "Festfahren" des Mischers oder anderer Aggregate auftreten würden.
- Es sollten neue Daten zum Betreiben der Kläranlage unter hygienisierenden Bedingungen gesammelt werden.
- Ferner sollte geprüft werden, ob Landwirte das Kalk-Schlammgemisch als Dünger akzeptieren. Deshalb organisierte der "Zweckverband Kläranlage Dübendorf" Streu- und Düngerversuche auf Testfeldern.

4.3.1. Einfluss der Mischschaufeln

Ein Vorversuch (s. 3.3.3.) hatte gezeigt, dass bei Bearbeitung des Kalk-Schlamm-Gemisches (bei gleicher Dosierung von $0,237 \text{ kg Kalk/kg TS}$) in den Mulden mit Vollschaufeln höhere Kerntemperaturen im Gemisch erzielt werden als beim Einsatz von Halbschaufeln (Abb. 6, Seite 23). Die ermittelte Temperaturdifferenz betrug etwa $+10^\circ\text{C}$. Andererseits traten bei Anwendung der Halbschaufeln kurzfristig um 25°C höhere Oberflächentemperaturen auf. Erst nach 4 h sanken die Temperaturen auf das Niveau des mit Vollschaufeln erzielten Gemisches. Diese Tatsachen wurden durch Wiederholen der Versuche bestätigt. Eine Erklärung für diese Unterschiede liess sich aus den eigenen Resultaten nicht ableiten. Die mit Vollschaufeln erzielten höheren Kerntemperaturen veranlassten uns, erstere in den Versuchen einzusetzen.

4.3.2. Ergebnisse der Ammoniakbestimmung

Mit Hilfe der Gasspürpumpe (s. 3.3.7.) wurde eine mittlere Ammoniakkonzentration von 50 ppm ($n=12$) gemessen, die $5 \times 10^{-3} \text{ Vol. \%}$ entspricht. Die Messung erfolgte dicht oberhalb der Schlamm-Masse bei einer Dosierung von 400 g CaO/Kg TS Klärschlamm. Es sei hier vermerkt,

Die während dieser Versuche in den Tonnen 5 und 6 gemessenen Temperaturprofile sind in Abb. 5 dargestellt. Es zeigte sich, dass die Temperatur bei einer Kalkdosierung von 0,38 kg/kg TS im Verlauf von 5 Stunden auf einen Maximalwert von 61°C anstieg und bei der höheren Kalkdosis von 0,43 kg/kg TS 80°C erreichte. Temperaturen von ca.- 60°C bzw. von nahezu 80°C persistierten über mindestens 1 Stunde (danach Messungen unterbrochen). Nach 12 Stunden waren die Temperaturen auf 42°C (Tonne 5) bzw. 47°C (Tonne 6) abgefallen.

Temperatur (°C)

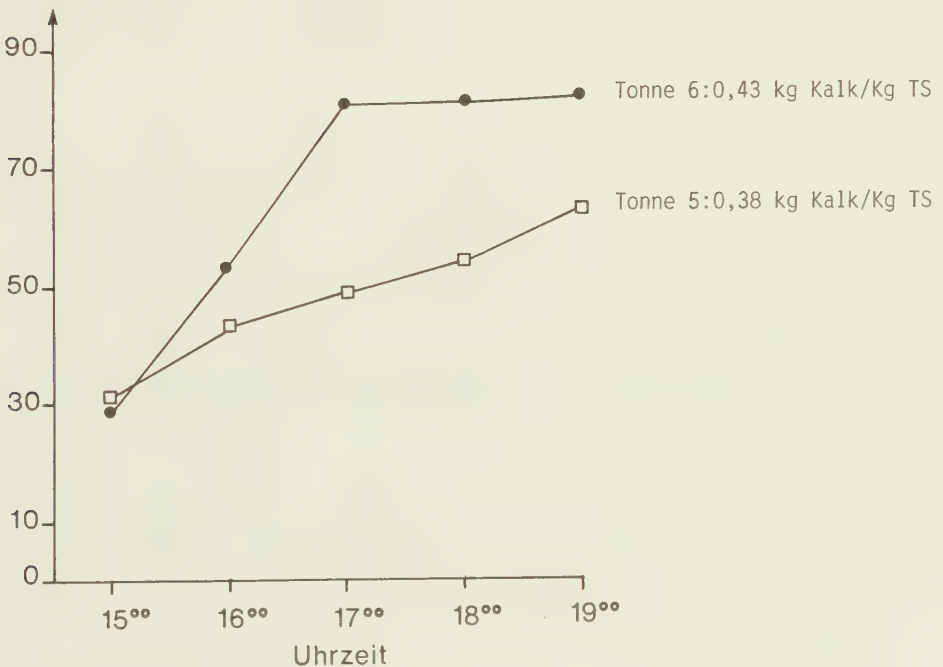


Abb.5: Temperaturprofile (Kerntemperaturen) in den ersten 4 Stunden des "Tonnenversuches".

4.2. Resultate zur Wirkung von Branntkalk gegen Ascaris-Eier in Klärschlamm ("Tonnenversuch")

In den Vorversuchen sollte geklärt werden, bei welcher Konzentration von Branntkalk im Klärschlamm eine vollständige Abtötung von Ascaris-Eiern erfolgt. Die in Tonnen durchgeführten Versuche ergaben, dass mit einer Dosierung von 0,430 kg Kalk/kg Trockensubstanz des partiell entwässerten (28 %TS) Klärschlammes eine vollständige Abtötung der Ascaris-Eier möglich ist. Kleinere Kalkdosierungen üben nur Teilwirkungen aus (Tabelle 2).

Tabelle 2: Wirkung von Branntkalk (94 % CaO) auf die Ueberlebensfähigkeit von Ascaris-Eiern in partiell entwässertem Frischschlamm mit 28 % Trockensubstanz

Versuchsbedingungen:		Resultate:			
	Dosierung Branntkalk in Kg des FS pro kg der TS	% lebensfähige Larven:*			$\bar{x}$
		Beutel/1	Beutel/2	Beutel/3	
Inkubation der Eier im Labor ohne Exposition in Schlamm	-	88,8	83,6	91,0	87,8
Schlammexposition ohne Kalk	-	77,0	85,6	89,7	84,1
Tonne 1	0,19	73,5	74,4	81,1	76,3
Tonne 2	0,24	61,2	61,1	67,6	60,2
Tonne 3	0,29	49,5	46,8	49,3	48,5
Tonne 4	0,34	0	0	28,0	28,0
Tonne 5	0,38	0	22,3	0	22,3
Tonne 6	0,43	0	0	0	0

* von jedem Beutel wurden drei Proben à mindestens 100 Eier ausgewertet.
TS: Trockensubstanz, FS: Frischschlamm, $\bar{x}$: Mittelwert

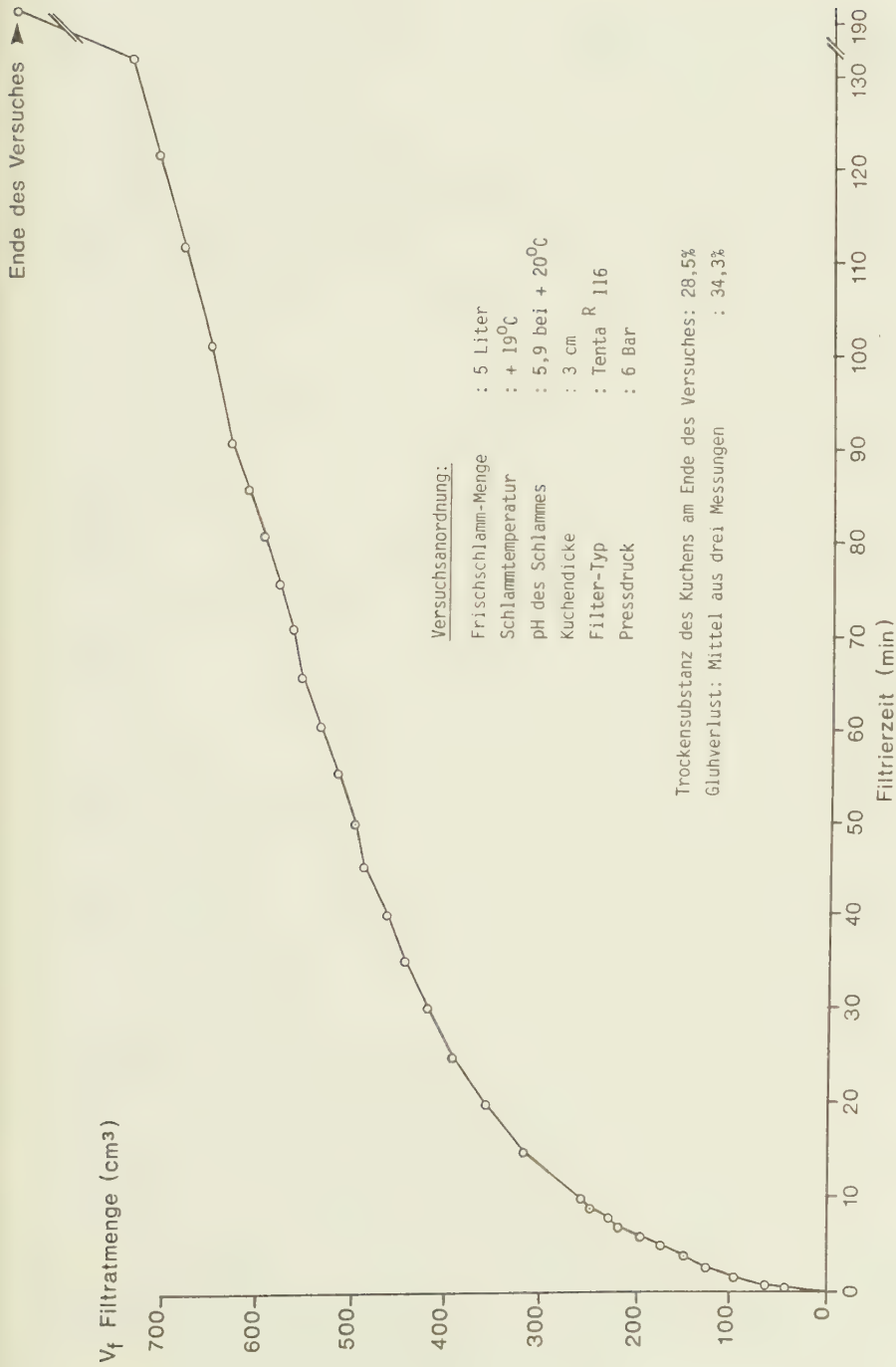


Abb. 4: Durchflussmengen des Frischschlammes beim Filtrationsversuch



Abb.3: Lösversuche mit Brantkalk nach DIN-Blatt 1060(DIN, 1967)

4. Versuche und Ergebnisse

4.1. Resultate zur Charakterisierung der Ausgangsprodukte Klärschlamm und Branntkalk

Die aus verschiedenen Anlagen stammenden Klärschlämme unterscheiden sich u.a. je nach Art der Nutzung des Einzugsgebietes (Wohngebiet, Industrie- oder Landwirtschaftszone), sowie je nach Jahreszeit und Wetterlage. Unter dem Einfluss verschiedener Faktoren kann ein normalerweise griffig-körniger Schlamm schmierig-klebrige Beschaffenheit annehmen. Diese Tatsachen mögen erläutern, welche Probleme beim Mischvorgang von Klärschlamm mit Kalk auftreten können, vor allem wenn man eine Hygienisierung anstrebt. Deshalb war es notwendig, die verwendeten Ausgangsprodukte möglichst genau zu definieren.

Die Vorbereitungen des Kalkes (d.h. Probennahme, Untersuchungen zum Mahlgrad und zur Reinheit) sowie die Beschreibung der genormten Apparaturen zur Durchführung der Löschversuche sind im DIN-Blatt 1060 (DIN, 1967) zusammengefasst.

Die eigenen Versuche zur Charakterisierung der verwendeten Kalkgüte wurden zweimal durchgeführt. Die daraus resultierenden zwei Löschkurven hatten einen identischen Verlauf, was auf die Homogenität des verwendeten Materials schliessen lässt (Abb. 3, Seite 18). Die Zeit, die benötigt wurde, um 60°C zu erreichen (T_{60} -Wert), betrug 3 bzw. 3 1/4 Minuten. Diese Werte sind charakteristisch für hochreaktive Branntkalksorten. Die in den Versuchen erreichte Maximaltemperatur ($T_{\max}$) betrug in beiden Fällen + 75°C. Bis zum Erreichen dieser Temperatur vergingen 18 Minuten. Mit diesen Parametern war die Ergiebigkeit der verwendeten Kalksorte eindeutig definiert.

Klärschlämme sind wegen ihrer Inhomogenität schwer zu charakterisieren. Damit eine Aussage über die Schlammqualität bei Hygienisierungsversuchen gemacht werden kann, haben wir Filtrationsversuche durchgeführt. Die Versuchsanordnung ist im Schema der Abb. 1 (Seite 8) wiedergegeben. Damit lässt sich der Filterwiderstand bestimmen, der sich sehr gut zum qualitativen Vergleich von verschiedenen Schlämmen eignet. Ein Beispiel einer Messkurve zeigt Abb. 4 (Seite 19)

3.3.7. Ammoniakbestimmung

Zur Bestimmung der beim Löschvorgang freiwerdenden Ammoniakmengen wurde eine Gasspürpumpe (Fa. Dräger, D-Lübeck) mit Prüfröhrchen verwendet, die 3 verschiedene Empfindlichkeitsbereiche erfassen (NH_3 5/a; NH_3 0,5/a; NH_3 25/a). Es wurden 3 Messungen pro Messbereich durchgeführt.

Die Gasspürpumpe ist eine von Hand zu betätigende Balgpumpe. Mit jedem Hub fördert diese Pumpe 100 cm^3 Testgas durch ein Prüfröhrchen. Im Röhrchen reagiert das zu prüfende Gas mit Reagenzien unter Farbumschlag. Die Konzentration des Gases kann direkt abgelesen werden. Durch Veränderung der vorgeschriebenen Hubzahl kann der Messbereich erweitert werden.

3.3.8. Schnellbestimmung der Trockensubstanz (TS)

Eine rasche Bestimmung der Trockensubstanz des Schlammes wurde mit Hilfe eines von uns abgeänderten Mikrowellengerätes (Typ M 718 Computer, Firma Philips) im Labor durchgeführt. Der Messbereich der computergesteuerten Messsonde des Gerätes wurde durch Einbringung eines zusätzlichen Drehwiderstandes in den Schaltkreis von maximal $+89^\circ\text{C}$ auf ca. $+150^\circ\text{C}$ erweitert. Zur Eichung der vom Computer konstant zu haltenden Temperatur von $+131^\circ\text{C}$ wurde die Sonde in ein Becherglas mit Frittieröl eingetaucht. Mit Hilfe eines Thermometers wurde dann die richtige Einstellung des Drehwiderstandes ermittelt. Zur TS-Bestimmung wurden Klärschlammproben von 100 g in gewogenen Porzellanschalen bis zur Gewichtskonstanz (ca. 1 h) getrocknet (d.h. bis nach drei aufeinanderfolgenden Wägungen keine Änderungen des Gewichtes messbar waren). Später wurde der Glühverlust im Muffelofen bei $+600^\circ\text{C}$ ermittelt.

3.3.4. Gewinnung, Vorbereitung und Einbringen der Testorganismen in die Versuchsbehälter

Die Gewinnung und Vorbereitung der Ascaris suum-Eier als Testorganismen sind bereits unter Punkt 3.2.4. beschrieben worden.

Die in den Versuchen eingesetzten Grossraummulden (7 m^3) wurden mit Hilfe des Förderbandes der Kläranlage mit gekalktem Klärschlamm gefüllt. Die Anlage war so eingestellt, dass eine Mulde in 110 bis 115 Minuten gefüllt wurde. Sobald die Mulde voll war, wurde sie unter eine Abdachung gefahren. Anschliessend wurde der Muldeninhalt auf einer Fläche von etwa 2 m^2 planiert. Entlang der Querachse der Mulde wurden in Löcher von 10, 20, 30, 40 und 50 cm Tiefe je zwei Testbeutel eingelegt und mit dem Kalk-Klärschlammgemisch zugedeckt. Zuvor war an den Metallösen der Beutel eine Schnur befestigt und bis zur Oberfläche geführt worden, was die Wiedergewinnung der Beutel nach 24 h wesentlich erleichterte.

3.3.5. Temperaturmessung

Zur kontinuierlichen Temperaturregistrierung in verschiedenen Tiefen des Gemisches wurde eine Messeinrichtung zusammengestellt. Als Fühler dienten hochpräzise Platin-Widerstandsthermometer, die in ca. 1,5 m lange Hülsen aus Chromstahl eingebaut waren. Sechs Temperaturfühler wurden über einen Schalt- und Eichblock mit einem 6-Kanal-Schreiber verbunden. Die Eichung erfolgte mit Eiswasser (0°C Punkt) und siedendem Wasser ($+100^\circ\text{C}$ Punkt).

Die Temperatursonden wurden entlang der Querachse der Mulde in verschiedene Tiefen (10, 20, 30, 40, 50 und 60 cm) eingeführt.

3.3.6. Rückgewinnung der Testorganismen und Auswertung

Nach 24 h Exposition im Kalk-Klärschlammgemisch wurde entlang der Schnur nach den Beuteln gegraben. Die aufgefundenen Beutel wurden kurz mit Leitungswasser gespült und in 1 %iger Formaldehydlösung zur weiteren Bearbeitung (s. 3.2.6.) ins Labor transportiert.

3.3.1. Versuchsbehälter

Als Versuchsbehälter dienten Grossraummulden von 7 m^3 Inhalt in Standardausführung, wie sie in kommunalen Betrieben verwendet werden. Für die Versuche standen diese Mulden im Freien, vor Regen jedoch durch eine Abdeckung geschützt. Ihre Aussenwandungen wurden nicht besonders isoliert.

3.3.2 Klärschlamm

Der Klärschlamm war wie unter 3.2.2. beschrieben vorbehandelt. Nach dem Zentrifugaldekanter gelangte er auf einem kurzen Förderband zum Pflugscharmischer, wo er im Durchflussverfahren mit dem Branntkalk des Silos vermischt wurde. Von da aus wurde das Gemisch auf ein weiteres offenes Förderband entleert, auf dem das Material in die im Freien stehenden Grossraummulden gelangte.

3.3.3. Branntkalk und Art der Mischung mit Klärschlamm

Für die Versuche wurde ein Silo mit frischem Branntkalk gefüllt, dessen Gehalt an reaktivem CaO zur Zeit der Experimente bei über 94 % lag. Die Dosierung des Kalkes erfolgte über die Dosierschleuse des Kalksilos. In Vorversuchen waren die pro Zeiteinheit aus der Schleuse austretenden Kalkmengen ermittelt worden, und zwar durch Wägungen. Aufgrund einer Eichkurve konnten dann im Hauptversuch durch Variation der Oeffnungszeiten der Schleusen unter Berücksichtigung der Füllzeit der Mulden (ca. 110 - 115 Minuten) die benötigten Kalkmengen zugeführt werden, die zuvor errechnet worden waren.

In einem weiteren Vorversuch waren zwei Typen von Mischschaufeln, die sich zum Mischen von Branntkalk mit Klärschlamm eignen, gegeneinander getestet worden. Es handelte sich um sogenannte "Halbschaufeln" und "Vollschaufeln". Es wurden zwei Grossraummulden mit den Halbschaufeln und zwei weitere Mulden mit den Vollschaufeln bearbeitet und die auftretenden Temperaturen registriert.

Für den Grossraummuldenversuch mit Ascaris-Eiern als Testorganismen wurden die Vollschaufeln verwendet aus Gründen, die später diskutiert werden.

3.2.6. Rückgewinnung der Testorganismen und Auswertung

Nach 36 h Exposition im Kalk-Klärschlammgemisch wurde entlang der Schnur nach den Beuteln gegraben. Nach dem Auffinden wurden die Beutel kurz mit Leitungswasser gespült und in 1 %iger Formaldehydlösung zur weiteren Bearbeitung ins Labor transportiert. Im Labor wurden die Klammern entfernt und die Beutel entfaltet. Die Gaze wurde entlang beider geschweissten Kanten mit einer Schere aufgeschnitten, mit einer Pinzette umgedreht und in eine Pyrex-Flasche (50 ml Inhalt) mit Schraubverschluss gebracht. In jede Flasche wurden mit Hilfe eines Dosierautomaten 30 ml 1 %ige Formaldehydlösung zugegeben. Für jeden Beutel verwendeten wir eine separate Flasche. Der Inhalt wurde etwa 2 Minuten lang kräftig geschüttelt und dann in eine Petri-Schale von 9 cm Durchmesser gegossen. Am Boden der Petri-Schalen waren ausser einer Identifikationsnummer noch drei Sektoren mit dem Filzstift markiert worden. Die Bebrütung der Eier aus der Kläranlage wie auch der Kontrollen erfolgte bei +27°C für 35 Tage in einem Kühl-Brutschrank (Fa. Heraeus, Typ BK 500).

Jede Woche wurden die Kulturen mikroskopisch kontrolliert, durch Schwenken der Eisuspension belüftet und nötigenfalls das verdunstete Wasser ergänzt.

Die Auswertung erfolgte am Ende der Bebrütungsperiode von 35 Tagen. Pro Petri-Schale und Beutel wurden in den drei Sektoren unter dem Mikroskop bei 100-facher Vergrößerung mit Hilfe eines Zählrahmens im Okular (Fa. Leitz, 10 x 10 Unterteilungen) 3 x 100 Eier differenziert. Die Eier wurden in entwickelte (mit Larve) und nicht entwickelte Eier (Eier in jedem anderen Entwicklungsstadium) unterteilt. Nicht befruchtete, d.h. dünnschalige Eier, wurden nicht berücksichtigt (Vergl. Birbaum und Eckert, 1985).

3.3. Hauptuntersuchungen zur hygienisierenden Wirkung von Branntkalk ("Grossraummuldenversuch")

Beim "Grossraummuldenversuch" wurden die Versuchsbedingungen so ausgelegt, dass sie industriellen Verhältnissen und Routinebedingungen entsprachen.

Zürcher Beuteltuchfabrik AG, CH Rüschlikon). Die Beutel waren 45 x 50 mm gross, hatten seitlich zwei mit Ultraschall geschweisste Nähte und waren oben offen. Seitlich waren noch zwei Lappen von 20 mm Breite mit zwei Metallösen zur Befestigung der Beutel bei Versuchen angebracht. Die Beutel wurden mit einem wasserfesten Filzstift beschriftet und am oberen Rand nach zweimaligem Falten mit kleinen Büroklammern verschlossen.

Jeder Beutel wurde mit einer wässrigen Suspension von ca. 1 Mio. Ascaris-Eiern beschickt, deren äussere Proteinhülle mit Hilfe einer Natriumhypochloritlösung mit einem Gehalt von 1,5 % aktivem Chlor entfernt worden war. Die Lagerung der Beutel vor Beginn der Versuche erfolgte in Kautex^(R)-Flaschen (1 l Inhalt) in 1 % Formaldehydlösung im Kühlschrank bei +4°C (20 Beutel pro Liter Formaldehyd, das wöchentlich gewechselt wurde). Der Transport der Beutel in die Kläranlage erfolgte in gekühlten Boxen bei ca. +10°C. Mit Hilfe eines mitgeführten Minimum-Maximum-Thermometers wurde darauf geachtet, dass das Versuchsmaterial keinen schädigenden Temperaturen ausgesetzt war.

Pro Tonne wurden drei an einer Schnur befestigte Beutel mit Ascaris suum-Eiern als Testkeime eingesetzt. Diese wurden entlang der Vertikalachse der Tonnen in verschiedenen Tiefen (10, 30, 50 cm) angeordnet und allseitig vom Kalk-Klärschlammgemisch umgeben. Zur Kontrolle dienten Ascaris-Eier aus nicht exponierten Beuteln.

3.2.5. Temperaturmessung

In jeder Tonne wurden Thermometer in 5 und 10 cm Tiefe ("Oberfläche") sowie im geometrischen Zentrum ("Kernzone") platziert. Bei den Thermometern handelte es sich um Quecksilberthermometer von 50 - 100 cm Länge, die durch Metallhülsen geschützt waren und einen Messbereich von 0°C - 100°C hatten (EAWAG, CH-Dübendorf).

Die herrschenden Temperaturen wurden zu Beginn des Versuches alle 10 Minuten abgelesen, um die Reaktion genau verfolgen zu können. Die Beobachtungsintervalle wurden dann mit dem Nachlassen der Wärmeentwicklung zum Schluss des Versuches bis zu einigen Stunden verlängert. Die Temperaturentwicklung in den Tonnen wurde insgesamt 36 Stunden lang verfolgt.

Proben des Schlammes von etwa 150 kg +/- 0,1 kg mit einem TS-Gehalt von 28 % wurden in einen Chargenmischer (= Pflugscharmischer mit 130 l Inhalt) (Typ: FM 130 D, Firma Lödige, D-Mannheim) eingefüllt.

3.2.3. Brantkalk und Art der Mischung mit Klärschlamm

Die verschiedenen Kalkmengen, die zur Erzielung steigender Kalkkonzentrationen benötigt wurden, waren an einer Entnahmestelle einer Förderschnecke aus einem Silo entnommen und genau abgewogen worden. Sie wurden den jeweiligen Klärschlammchargen bei laufendem Pflugscharmischer zugegeben. Die Mischzeit betrug immer 30 Sekunden. Nach dieser Zeit wurden die Entleerungs-Klappen des Mixers geöffnet und die unten am Mischer platzierten Versuchsbehälter mit 80 l Schlamm Kalk-Gemisch gefüllt.

3.2.4. Gewinnung, Vorbereitung und Einbringen der Testorganismen in die Versuchsbehälter

Zur Prüfung der hygienisierenden Wirkung von Brantkalk in Klärschlamm haben wir eine Keimträgermethode mit Ascaris-Eiern verwendet, wie sie in ähnlicher Form der Prüfung parasitizider Desinfektionsmittel dient (Von der Heide, 1973) und von Birbaum und Eckert (1985) zur parasitologischen Ueberprüfung von Hygienisierungsanlagen für Klärschlamm eingeführt wurde.

Die Gewinnung der Ascaris-Eier erfolgte nach der von Birbaum und Eckert (1985) beschriebenen Methode mit folgenden Abweichungen:

- Die frisch gewonnenen, nicht embryonierten Eier des Schweinespulwurmes (Ascaris suum) wurden nicht in der üblichen Weise auf Keramikplättchen gestrichen und nach Exposition hiervon abgekratzt, sondern in wässriger Suspension in Perlonbeutel mit einer Maschenweite von 20 µm abgefüllt, die für unsere Fragestellungen besser geeignet erschienen als Plättchen.
- Zur Erzielung einer besseren Homogenität des Testmaterials wurde aus den Uteri mehrerer Spulwürmer eine einheitliche Ei-Suspension hergestellt, aus der Proben sowohl für die Versuche als auch für Kontrollen entnommen wurden.
- Aus Kostengründen wurde das Antimykotikum Fungizone^(R) ohne Nachteile durch 1 %ige Formaldehydlösung ersetzt.

Zum Einbringen der Testorganismen in die Versuchsbehälter verwendeten wir Beutel aus Gaze mit einer Maschenweite von 20 µm (SCRYNEL NY 20 HC,

(Abb. 2, Seite 9) durch "P" markiert. Bei der Entnahme der Proben wurden der Durchsatz des Schlammes als Mass für die Leistung der Anlage, der Flockungsmittelverbrauch und die Einstellungen an den Schlamm befördernden oder verarbeitenden Aggregaten protokolliert. Die Stellen, wo Messungen stattfanden, sind mit "M" gekennzeichnet. Die zur Zeit der Versuche herrschenden Luft- und Wassertemperaturen wurden registriert.

3.1.2. Charakterisierung vom Branntkalk

Die Reaktionsfreudigkeit des Branntkalkes wurde in genormten "Löschversuchen" nach DIN 1060 (DIN, 1967) zweimal ermittelt. Zusätzlich wurden kleinere Laborversuche zur Ermittlung der Konsistenz und der Tragfähigkeit des Endproduktes bei verschiedenen Mischverhältnissen von Branntkalk und Klärschlamm durchgeführt.

3.2. Voruntersuchungen zur Wirkung von Branntkalk gegen Ascaris-Eier in Klärschlamm ("Tonnenversuche")

Wie einleitend erwähnt, wurde zunächst in Vorversuchen geklärt, welche Konzentration von Branntkalk zur Hygienisierung des Klärschlammes erforderlich ist.

3.2.1. Versuchsbehälter

Als Versuchsbehälter dienten Metall-Fässer von 80 l Inhalt (=Tonnen), die freundlicherweise von der EAWAG^{*)}, Dübendorf, zur Verfügung gestellt wurden.

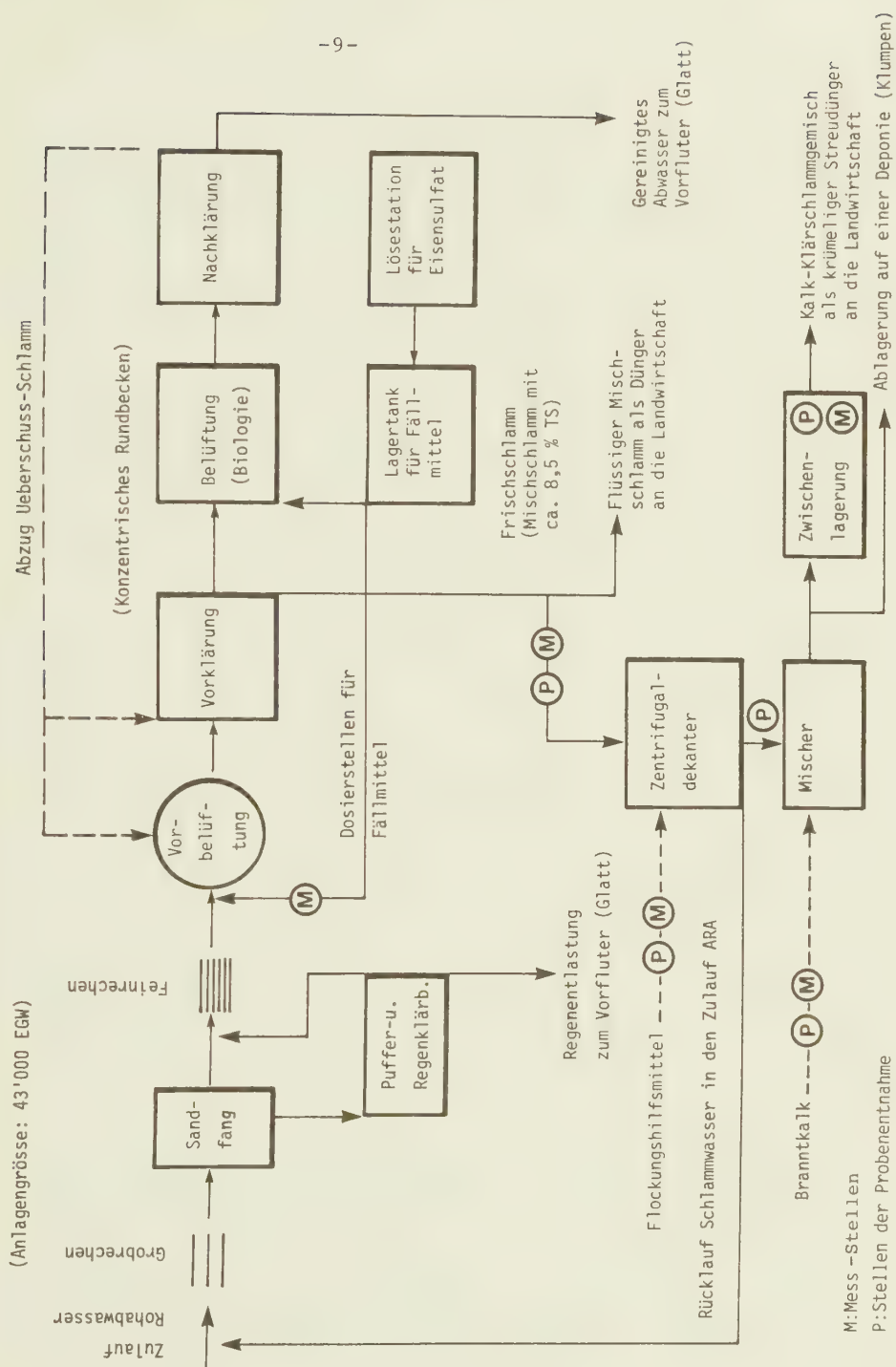
3.2.2. Klärschlamm

Der zu den Versuchen verwendete Klärschlamm hatte die Kläranlage bis zum Zentrifugaldekanter passiert, wo er entnommen wurde. Er hatte vorher folgende Behandlung erfahren (Abb. 2, Seite 9):

Grobfiltration - Sandfang - Feinfiltration - Phosphatfällung mit Eisensulfat - Belüftungsbecken - Zugabe von Polyelektrolyten als Flockungshilfsmittel - kontinuierliche Entwässerung mit einem Zentrifugaldekanter.

^{*)} Eidgenössische Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz.

Abb.2 : Betriebsschema der Kläranlage Dübendorf



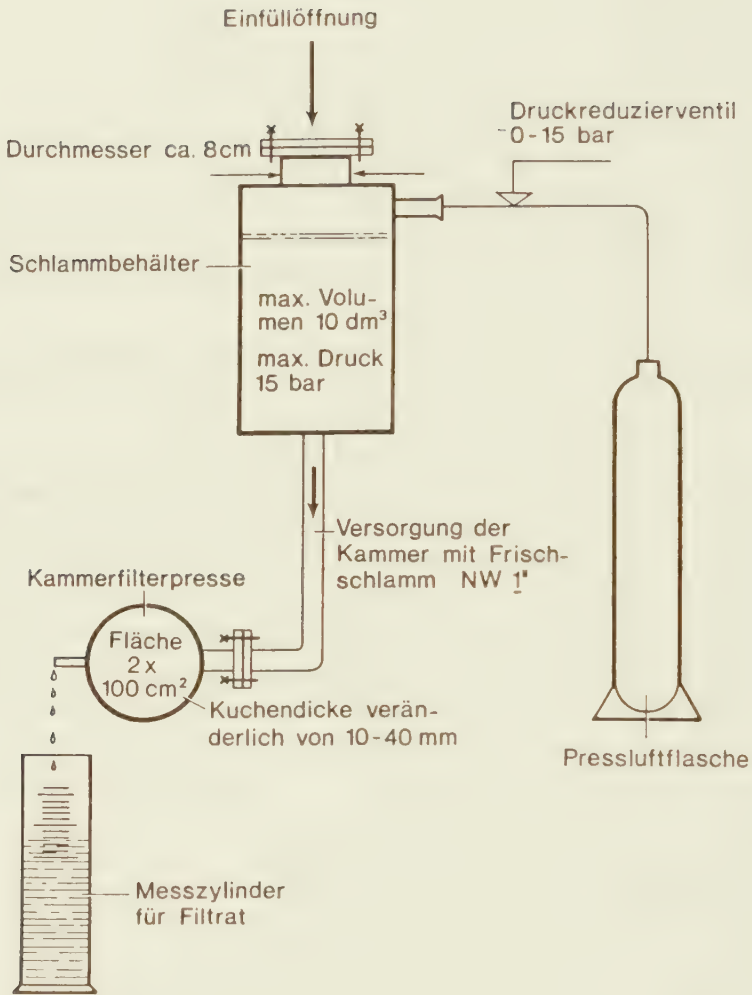


Abb.1: Versuchsanordnung zur Bestimmung des Filterwiderstandes

3. Material und Methoden

Im Prinzip umfassten die eigenen Untersuchungen folgende Schritte: Die Kalkung von Klärschlamm, das Einbringen von Ascaris-Eiern als Testorganismen sowie deren Prüfung auf Vitalität. Vorgängig zu den Hauptuntersuchungen wurden Arbeiten zur Definition der Ausgangsmaterialien (Klärschlamm und Branntkalk) sowie Vorversuche zur hygienisierenden Wirkung von Branntkalk in verschiedenen Schritten durchgeführt, die in der Einleitung erwähnt sind. Dementsprechend wird hier die Methodik beschrieben.

3.1. Methoden zur Charakterisierung der Ausgangsprodukte Klärschlamm und Branntkalk

Bei Zusatz von Branntkalk zum Klärschlamm kommt eine hygienisierende Wirkung durch Temperaturerhöhung zustande, die auf einer chemisch-physikalischen Reaktion des reaktiven Anteiles (CaO) des Branntkalkes mit dem Wasser im Klärschlamm beruht. Es ist evident, dass diese Reaktion durch die Qualität des Branntkalkes (d.h. Gehalt an CaO) einerseits und den Wassergehalt des Klärschlammes andererseits entscheidend beeinflusst wird. Daher war es notwendig, die Ausgangsmaterialien für die Versuche möglichst genau zu charakterisieren.

3.1.1 Charakterisierung vom Klärschlamm

Im Labor wurden folgende Parameter des Klärschlammes nach den Methoden zur Untersuchung von Abfallstoffen der EAWAG (EAWAG 1970) bestimmt: Trockensubstanzgehalt (TS) des Frischschlammes, TS des Schlammes nach Verlassen des Dekanters (als Mass für den Entwässerungsgrad), TS des Schlammes nach Kalkzugabe (als Mass für die Deponiefähigkeit), organischer und mineralischer Anteil des Schlammes sowie Schlammtemperatur vor dem Mischen. Zusätzlich wurde zur Charakterisierung der verwendeten Schlammsorte folgender Filtrationsversuch mit Hilfe einer Laborfilterpresse durchgeführt: Unter konstantem Druck (Pressluft) wird Frischschlamm durch einen Filter gepresst, dessen Parameter (Durchmesser, Material, Porenweite) bekannt sind. Damit lässt sich der Filterwiderstand ermitteln, der sich sehr gut eignet, um Schlämme zu vergleichen (Abb. 1, Seite 8).

Der in den Versuchen verwendete Klärschlamm stammte aus einer Kläranlage (ARA Dübendorf/ZH). Die Entnahmestellen der Proben sind im Betriebsschema

für die Stimulierung konnten die Autoren nicht angeben. Wurden die Eier in der Lösung gehalten, so sistierte die Entwicklung vor der Ausbildung der Larve. Nach Ueberführung der Eier in Wasser verlief die Entwicklung normal. Crewe und Owen (1983) und Owen (1984) fanden, dass eine Kalkung von Klärschlamm mit Verschiebung des pH-Wertes auf 11,5 die Larvenentwicklung in Eiern von A. suum bei einer Verweildauer von 24 oder 48 h auf 1 % reduziert, gegenüber 61 % (24 h) bzw. 63 % (48 h) in gekalktem Wasser bei gleichem pH-Wert. Wie Poole and Mills (1983) zeigten, verursacht die pH-Einwirkung nur eine Verzögerung des Schlüpfens der Onkosphären von Taenia.

Eine Abtötung von Ascaris-Eiern kann durch die Zugabe von Branntkalk zu entwässertem Klärschlamm erreicht werden. Bei geeigneten Mischungsverhältnissen steigt die Temperatur auf über +70°C an, wodurch Parasiteneier rasch absterben (Strauch und Berg, 1980). Bei dieser Branntkalkbehandlung ist die Wärmeentwicklung der wichtigste Letalfaktor für Parasitenstadien.

Von Aarburg et al. (1981) und Huber et al. (1984) berichteten über die Wirtschaftlichkeit des Verfahrens. Meyer und Ziess (1977) und Ziess (1980) haben praktische Erfahrungen beim Ausbringen gekalkter Schlämme auf landwirtschaftlich genutzte Flächen gesammelt. Ryan und Smillie (1975), Adams und Adams (1983), Souza et al. (1983), Curtin und Smillie (1984), Wallace (1984), Albasel und Cottenie (1985) untersuchten den Einfluss von Calcium auf Böden und Pflanzen.

Vegetative Stadien von Bakterien (z.B. coliforme Keime oder Salmonellen) werden in Flüssigkeiten bei pH-Werten über 9 - 10 rasch zerstört. Im Schlamm aber ist ihre Zerstörung verlangsamt, und zwar wegen des nur allmählichen Eindringens des Kalkes in die Schlamm-Partikel. Nach Strauch und Berg (1980) sollte deshalb der pH-Wert über 11,5 gehalten werden, um eine sichere Abtötung zu erreichen. Bei Lagerung von Klärschlamm in Haufen muss dafür gesorgt sein, dass ein pH über 10 erhalten bleibt, um eine Rekontamination mit Bakterien (z.B. Salmonellen) zu verhüten.

Schreiber-Rothschild (1980) stellte fest, dass durch Zugabe von 7 kg Branntkalk je m^3 Faulschlamm oder Frischschlamm bzw. von 9,24 kg gelöschtem Kalk je m^3 Frischschlamm Salmonellen abgetötet werden.

Im Gegensatz zu bestimmten Arten von Bakterien und Viren sind die Eier von Wurmparasiten (Helminthen) gegen Schwankungen des pH-Wertes wenig empfindlich. Dies trifft z.B. für Eier von Ascaris und Taenia zu. Die dazu veröffentlichten Befunde sind allerdings etwas widersprüchlich, weil bei den entsprechenden Untersuchungen zur pH-Empfindlichkeit der Eier andere Faktoren zu wenig oder nicht berücksichtigt wurden. Unseres Erachtens trifft hinsichtlich der Eier von Ascaris suum die Auffassung von Strauch und Berg (1980) zu, nach der pH-Werte um 12 bei 48 h Einwirkungsdauer die Lebensfähigkeit und die Infektiosität der Eier kaum beeinflussen. Damit stimmt überein, dass Adam und Westwood (1979) bei Alkalisierung des Mediums durch geringe Kalkkonzentrationen von $0,5 \text{ kg CaO/m}^3$ Schlamm auch nach mehreren Wochen keine Beeinflussung der Vitalität von Ascaris-Eiern feststellen konnten. Nach Polprasert und Valencia (1981) starben in Fäkalien von Menschen bei einem Ausgangs-pH von 12 und einer Einwirkungszeit von 48 h 26,5 % der Ascaris-Eier ab, während bei pH 9 die Absterberate bei 10 % lag. Storm et al. (1981) stellten in ihren Untersuchungen fest, dass zwischen dem 2. und 4. Lagerungsmonat in kalkstabilisiertem Schlamm eine Abnahme der Anzahl lebensfähiger Ascaris suum-Eier um 78 % eintrat.

Nach Crewe und Owen (1983) hat ein pH-Wert von 11,5 bei Einwirkung von 24 h wenig Einfluss auf Taenia-Eier; auch bei längerer Einwirkungsdauer (6 Monate) überleben die Onkosphären. Wenn Ascaris-Eier für kurze Zeit in Kalklösung gebracht wurden, stieg ihre Entwicklungsrate an. Einen Grund

Bei der Behandlung von Abwässern mit Kalk werden bei Schwermetallen Ausfällungsgrade von 50 % bis über 85 % festgestellt (Argo und Culp, 1972; Argaman und Weddle, 1973; Horstkotte, 1973).

- Weiterhin eignet sich Kalk aufgrund seiner chemisch-physikalischen Eigenschaften, um Klärschlämme zu stabilisieren und zu hygienisieren. (Doyle, 1967; Farrell et al., 1974; Bernhoff, 1975; Kickuth, 1976; Emrath, 1979; Villiers, 1981; Schuh, 1984).

Strauch et al. (1983) zeigten, dass bei hohem pH sowohl Salmonellen (Salmonella senftenberg) wie auch Viren (Poliovirus, ECBO-Virus, Reovirus, Parvovirus) in Klärschlamm sicher abgetötet werden können. Bei pH-Werten über 11,5 gehen die meisten Viren rasch zugrunde. Ihre Zerstörung wird nicht nur direkt durch den hohen pH-Wert verursacht, sondern auch durch die Freisetzung von Ammoniak bei einem pH-Wert um 12 (Koch und Strauch, 1981; Koch, 1982).

Die folgende Uebersicht nach Koch (1982) zeigt, welche Konzentrationen von Branntkalk zur Abtötung verschiedener Virus-Gruppen benötigt werden:

Tab. 1: Zur Abtötung verschiedener Virus-Gruppen in Klärschlamm benötigte Konzentrationen von Branntkalk (nach Koch, 1982)

Virus	Dosierung von Branntkalk in kg pro m ³ Schlamm	Art des Schlammes	Erforderliche Einwirkungszeit
Polio	3	Frischschlamm	30 min
Reo	3	"	3 h
Polio	10	Faulschlamm	6 h
Reo	10	"	3 h
Parvo	10	"	12 h
ECBO	10	"	24 h

- Auf Ackerfutterflächen darf Klärschlamm nur ausgebracht werden, wenn er hygienisiert ist und vor der Saat oder vor dem Auspflanzen in den Boden eingearbeitet wird (Anon., 1981 a, Art. 11).

Klärschlamm gilt in der Schweiz als hygienisiert, wenn er zur Zeit der Abgabe pro Gramm nicht mehr als 100 Enterobacteriaceen und keine infektiösfähigen Wurmeier mehr enthält (Anon., 1981 a, Art. 1). Nach dem Schweizerischen Milchlieferungsregulativ vom 18. Oktober 1971 (Anon., 1971, Art. 7) sind das Ausbringen von unstabilisiertem Schlamm^{*)} auf Futterflächen sowie der Zusatz zu Gülle während des ganzen Jahres untersagt. Vor dem Ausbringen von Klärschlamm sollen leicht abbaubare organische Stoffe abgebaut sein, zum Beispiel durch anaerobe Gärung im Faulturm oder durch Oxidation in einem Belüftungsbecken. Der spezifische Geruch von Abwasser entsteht hauptsächlich während der anaeroben Faulung organischer Substanzen, die Stickstoff und Schwefel enthalten, bei Anwesenheit pH-empfindlicher Bakterien. Schwefelwasserstoff ist das geruchbestimmende Gas, doch treten auch andere Substanzen vom Typ Indol, Skatol und Merkaptan als Geruchsbildner auf (Bernhoff, 1975). Stabilisation kann auch chemisch durch die Zugabe von Kalk oder von Desinfektionsmitteln erreicht werden (Farell et al., 1974, Huguenroth und Klages, 1978).

Das Interesse an der Kalkbehandlung nach der Entwässerung von Klärschlamm hat in den letzten Jahren zugenommen. Hierfür gibt es vor allem zwei Gründe:

- Verschiedene Gruppen von Schadstoffen lassen sich nach einer Reaktion mit Kalk partiell in Mineralien überführen. Zum Beispiel entsteht aus Cadmium nach einer Kalkbehandlung Otavit (CdCO_3), das auch als natürliches Mineral vorkommt (pers. Mitt., Bundesverband der Deutschen Kalkindustrie e.V.). Solche Schlämme können daher nach einer Kalkbehandlung deponiert werden (Rüffer et al., 1983) (siehe auch Diskussion).

*) Definition der Schlammstabilisierung gemäss Entwurf DIN 4505: Verfahren, mit dem der Schlamm so weit behandelt wird, dass von ihm keine Geruchsbelästigung ausgeht (DIN, 1985).



2. Literaturübersicht

Nach einer Schätzung des Bundesamtes für Umweltschutz (pers. Mitt., 1984) fallen in der Schweiz jährlich zwischen 2,5 und 3 Mio. Kubikmeter Klärschlamm bei der Reinigung von Abwässern in 850 Kläranlagen an. Der Klärschlamm wird zu ca. 50 % in der Landwirtschaft als Düngemittel verwendet, 30 % werden verbrannt, 20 % werden deponiert (Dettwiler, pers. Mitt., 1987). Eine Studie der Eidgenössischen Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz (Henseler, 1982) zeigt, dass in der Schweiz die anfallende Klärschlammmenge zunimmt. Im Jahr 1986 wurden die Abwässer von rund 80 % der 6,43 Mio. Einwohner der Schweiz Abwasserreinigungsanlagen (ARA) zugeführt, und bis zum Endausbau des Kläranlagensystems wird die Anschlussquote auf etwa 92 % ansteigen. Wegen erhöhter Anforderungen an die Abscheidegrade von Klärschlamm in den Reinigungsstufen wird die spezifische Schlammmenge, gemessen am Trockenrückstand (TR), von 100 g TR pro Einwohner und Tag im Jahr 1982 allmählich auf 110 g TR pro Einwohner und Tag ansteigen. Diese Prognosen lassen im Jahr 2000 eine Menge von ca. 5 Mio. m³ Frischschlamm erwarten.

Die Ergebnisse einer vom Schweizerischen Nationalfonds in Auftrag gegebenen Studie "Bewirtschaftung biogener Roh- und Abfallstoffe mit Nutzwertanalyse" zeigen deutlich, dass der landwirtschaftlichen Verwertung und der Entwässerung von Klärschlamm eine zentrale Bedeutung zukommen (Henseler, 1982). Nach Bruce und Fisher (1984) werden in der Schweiz 26 % der gesamten Klärschlammmenge mit Hilfe von Kammerfilterpressen, Siebandpressen oder mittels Zentrifugaldekantern partiell entwässert, 73 % werden an die Landwirtschaft in flüssiger Form abgegeben.

Bevor in der Schweiz Klärschlamm landwirtschaftlich verwendet werden darf, müssen verschiedene gesetzlich verankerte Voraussetzungen erfüllt sein, u.a.:

- Die Schwermetallgehalte im Klärschlamm dürfen nicht die Grenzwerte der Klärschlammverordnung überschreiten (Anon. 1981 a, Art. 2);
- Klärschlamm, der auf Futter- und Gemüseflächen ausgebracht oder in Güllegruben eingefüllt wird, muss hygienisiert werden (Anon. 1981 a, Art. 3 u. 8,2).

1. Einleitung

Im Oktober 1983 beauftragte das Bundesamt für Umweltschutz in Bern das Institut für Parasitologie der Universität Zürich, im Rahmen eines Programmes "Untersuchungen von Klärschlamm und Hofdünger auf Parasiteneier und -larven", die Wirkung des Kalkens von entwässertem Klärschlamm auf Parasiteneier und -larven zu prüfen. Ueber die Ergebnisse der durchgeführten Untersuchungen berichtet die folgende Arbeit.

Hauptziel der Untersuchungen war die Bestimmung der Konzentration von Kalk ("Branntkalk", CaO), die in partiell entwässertem Klärschlamm zur Abtötung aller Entwicklungsstadien von Parasiten führt. Zur Abklärung dieser Frage wurden entwicklungsfähige Eier des Schweinespulwurmes (Ascaris suum) als Testorganismen eingesetzt. Die Eignung dieser Eier als Testkeime beruht darauf, dass sie im Vergleich zu Entwicklungsstadien anderer Parasitenarten eine gleichgrosse oder höhere Widerstandsfähigkeit gegen Umwelteinflüsse besitzen und sie ausserdem relativ leicht beschaffbar sind (Lit. bei Birbaum und Eckert, 1985). Aus diesen Gründen werden Eier von Ascaris suum auch als Testkeime bei der parasitologischen Abnahmeuntersuchung von Klärschlammhygienisierungsanlagen in der Schweiz verwendet (Anonym, 1984).

Die durchgeführten Arbeiten umfassten folgende Teilgebiete:

- a) Vorarbeiten in einem Versuchslaboratorium zur Charakterisierung der verwendeten Ausgangsprodukte Klärschlamm und Branntkalk ("Filtrationsversuch" und "Löschversuch"). Die Versuche wurden mit Klärschlamm-Mengen bis 10 kg durchgeführt.
- b) Untersuchungen in halbindustriellem Massstab in einer Kläranlage ("Tonnenversuch"), um durch Zusatz ansteigender Konzentrationen von Branntkalk zu Klärschlamm die Absterberate zugesetzter Testorganismen zu ermitteln und um Anhaltspunkte für die Endkonzentration von Branntkalk zu erhalten, die für einen ausreichenden Hygienisierungseffekt erforderlich ist. In diesen Versuchen kamen Klärschlamm-Mengen von ca. 80 l pro Versuchsgefäss zum Einsatz.
- c) Untersuchungen unter Verwendung der Maschinen der Kläranlage bei Routinebedingungen, um die in Abschnitt b ermittelten Daten abzusichern. Dabei wurden um 100 Tonnen entwässerten Klärschlammes eingesetzt.

	Seite
3.3.5. Temperaturmessung	15
3.3.6. Rückgewinnung der Testorganismen und Auswertung	15
3.3.7. Ammoniakbestimmung	16
3.3.8. Schnellbestimmung der Trockensubstanz	16
4. Versuche und Ergebnisse	17
4.1. Resultate zur Charakterisierung der Ausgangsprodukte Klärschlamm und Branntkalk	17
4.2. Resultate zur Wirkung von Branntkalk gegen <u>Ascaris</u> - Eier in Klärschlamm ("Tonnenversuch")	20
4.3. Resultate der Hauptuntersuchungen zur Wirkung von Branntkalk ("Grossraummuldenversuch")	22
4.3.1. Einfluss der Mischschaufeln	22
4.3.2. Ergebnisse der Ammoniakbestimmung	22
4.3.3. Ergebnisse der Trockensubstanzbestimmung	24
4.3.4. Wirkung von Branntkalk auf die Ueberlebensfähigkeit von <u>Ascaris</u> -Eiern in entwässertem Frischschlamm	25
4.3.5. Temperaturentwicklung	26
5. Diskussion	29
6. Zusammenfassung/Summary	33
7. Danksagung	34
8. Literaturverzeichnis	35

INHALTSVERZEICHNIS

Seite

1. Einleitung	1
2. Literaturübersicht	2
3. Material und Methoden	7
3.1. Methoden zur Charakterisierung der Ausgangsprodukte Klärschlamm und Branntkalk	7
3.1.1. Charakterisierung vom Klärschlamm	7
3.1.2. Charakterisierung vom Branntkalk	10
3.2. Voruntersuchungen zur Wirkung von Branntkalk gegen <u>Ascaris</u> -Eier in Klärschlamm ("Tonnenversuch")	10
3.2.1. Versuchsbehälter	10
3.2.2. Klärschlamm	10
3.2.3. Branntkalk und Art der Mischung mit Klärschlamm	11
3.2.4. Gewinnung, Vorbereitung und Einbringen der Testorganismen in die Versuchsbehälter	11
3.2.5. Temperaturmessung	12
3.2.6. Rückgewinnung der Testorganismen und Auswertung	13
3.3. Hauptuntersuchungen zur hygienisierenden Wirkung von Branntkalk ("Grossraummuldenversuch")	13
3.3.1. Versuchsbehälter	14
3.3.2. Klärschlamm	14
3.3.3. Branntkalk und Art der Mischung mit Klärschlamm	14
3.3.4. Gewinnung, Vorbereitung und Einbringen der Test- organismen in die Versuchsbehälter	15

Institut für Parasitologie der Universität Zürich
(Direktor: Prof. Dr. J. Eckert)

KALKEN VON KLÄRSCHLAMM ZUR ABTÖTUNG VON HELMINTHEN-EIERN

INAUGURAL-DISSERTATION

zur Erlangung der Doktorwürde
der Veterinär-Medizinischen Fakultät
der Universität Zürich

vorgelegt von

PHILIPPE DARDENNE

Tierarzt
von Basel-Stadt

Genehmigt auf Antrag von
Prof. Dr. J. Eckert, Referent
Prof. Dr. H. U. Bertschinger, Korreferent

Zürich 1987

Imprimate S.A. Lausanne

**KALKEN VON KLÄRSCHLAMM
ZUR ABTÖTUNG VON HELMINTHEN-EIERN**



**KALKEN VON KLÄRSCHLAMM
ZUR ABTÖTUNG VON HELMINTHEN-EIERN**

INAUGURAL-DISSERTATION

zur Erlangung der Doktorwürde
der Veterinär-Medizinischen Fakultät
der Universität Zürich

vorgelegt von

PHILIPPE DARDENNE

Tierarzt
von Basel-Stadt

Genehmigt auf Antrag von
Prof. Dr. J. Eckert, Referent
Prof. Dr. H. U. Bertschinger, Korreferent

Zürich 1987

Imprive S.A. Lausanne